

Karsologie

Jiří Faimon

rozsah 2/0

3 kredity

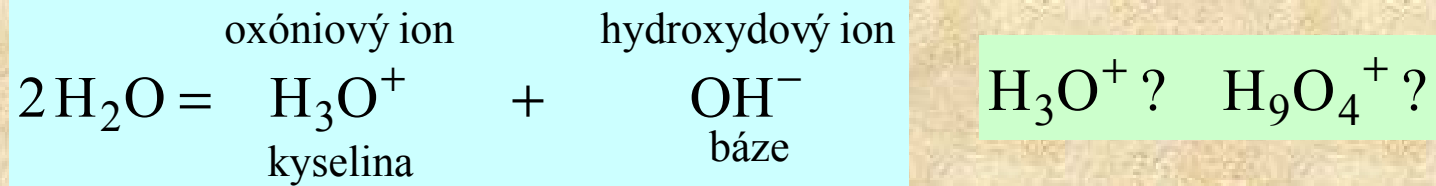
Hydrogeochemie skapových vod

Acidobazické systémy

Brönstedova teorie kyselin a zásad

Kyselina: molekula potenciálně uvolňující H⁺ ion

Báze (zásada): molekula potenciálně vázající H⁺ ion



Zjednodušeně:



$$K_w = a_{\text{H}^+} a_{\text{OH}^-} = 10^{-14}$$

$$-\log 10^{-14} = -\log a_{\text{H}^+} - \log a_{\text{OH}^-}$$

$$14 = \text{pH} + \text{pOH}$$

Hydrogeochemie

Acidita [Acy]: suma ekvivalentů *volných kyselin* (vzhledem k referenční hladině, H₂O, H₂CO₃)

Alkalita [Alk]: suma ekvivalentů *volných bází* (vzhledem k referenční hladině, H₂O, H₂CO₃)

$$[\text{Alk}] = -[\text{Acy}]$$

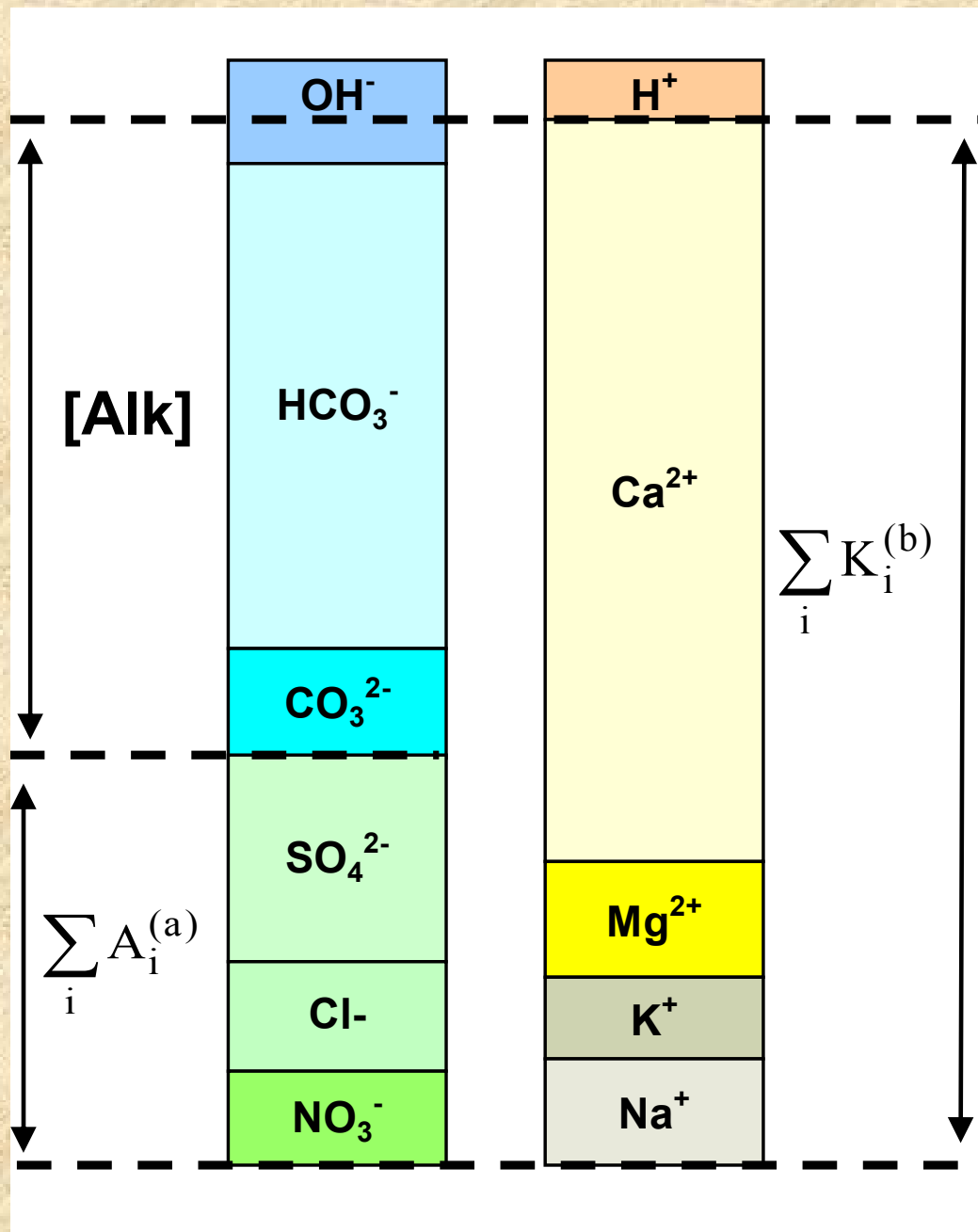
[Acy] = BNC (bazická neutralizační kapacita)

[Alk] = ANC (kyselinová neutralizační kapacita)

BNC – kapacita roztoku k pojmání ekv. silné kyseliny po dosažení neutrality (pH = 4,5)

ANC - kapacita roztoku k pojmání ekv. silné báze po dosažení neutrality (pH = 4,5)

Hydrogeochemie



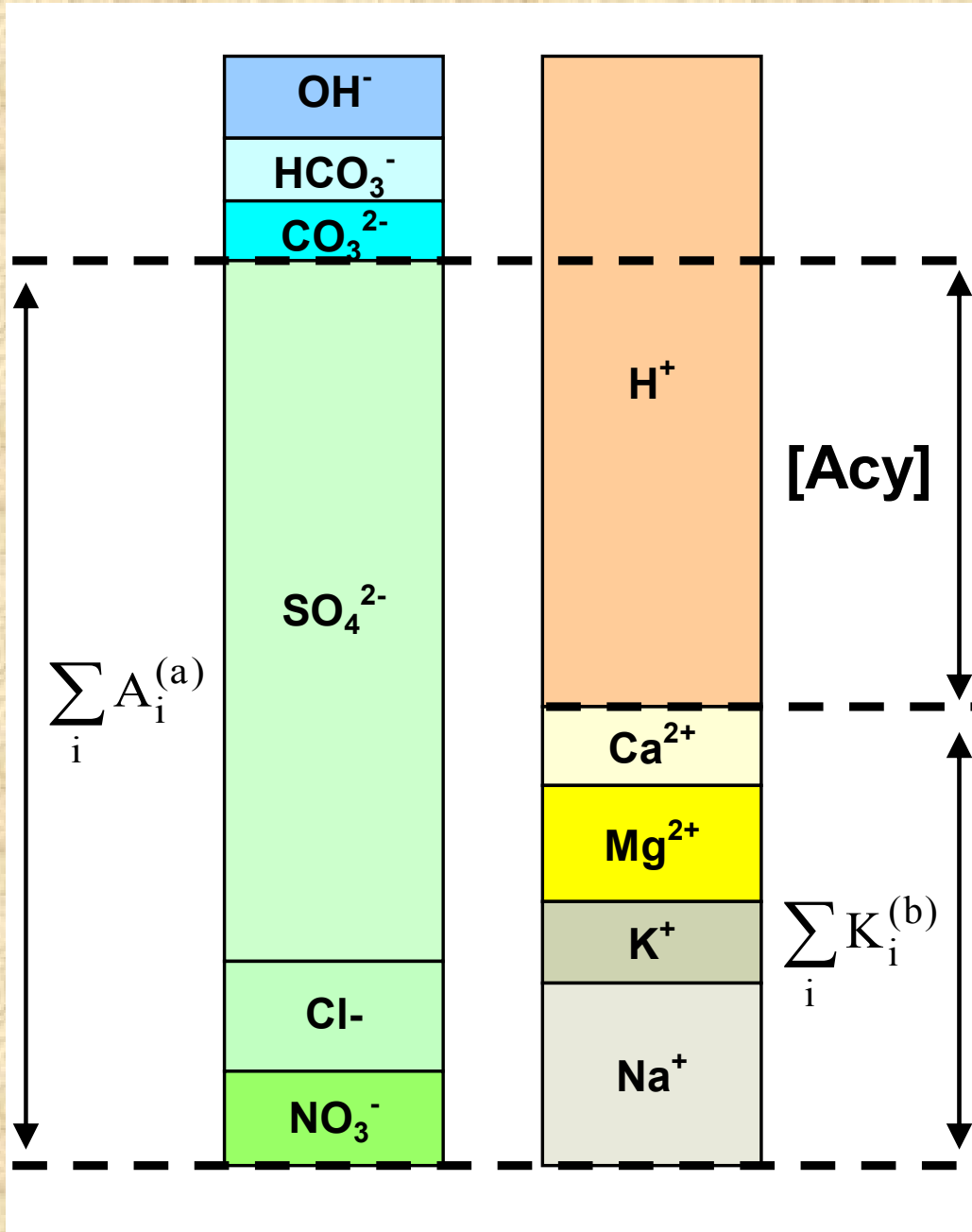
$$[\text{Alk}] = [\text{OH}^-] + [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] - [\text{H}^+]$$

$$[\text{Alk}] = \sum_i K_i^{(b)} - \sum_i A_i^{(a)}$$

$\sum_i K_i^{(b)}$ kationty silných bází

$\sum_i A_i^{(a)}$ ationty silných kyselin

Hydrogeochemie



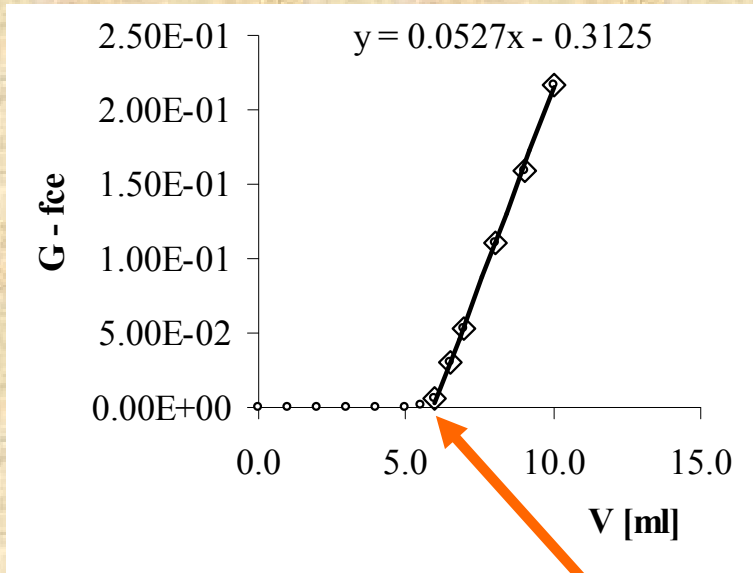
$$[Acy] = [H^+] - [OH^-] - [HCO_3^-] - 2[CO_3^{2-}]$$

$$[Acy] = \sum_i A_i^{(a)} - \sum_i K_i^{(b)}$$

$$\Delta \sum_i K_i^{(b)} - \Delta \sum_i A_i^{(a)} = \Delta[Alk] = -\Delta[Acy]$$

Stanovení alkality

Potenciometrická titrační metoda s vyhodnocením pomocí Granovy funkce



bod ekvivalence

titrační činidlo: 0,05 mol/l HCl

Faktor = 1.10254

ml činidla	pH	G fce
0.0	7.89	3.22E-06
1.0	7.27	1.35E-05
2.0	6.93	2.96E-05
3.0	6.42	9.62E-05
4.0	6.03	2.37E-04
5.0	5.63	5.98E-04
5.5	5.3	1.28E-03
6.0	4.65	5.73E-03
6.5	3.93	3.01E-02
7.0	3.68	5.37E-02
8.0	3.37	1.10E-01
9.0	3.21	1.60E-01
10.0	3.08	2.16E-01
bod ekv.:	5.93	ml

$$GF = (V + V_0) 10^{-pH} \quad [H^+] = 10^{-pH}$$

$$V + V_0 \Rightarrow \text{celk. objem } V_{\text{celk}}$$

$$c = m / V \Rightarrow m = cV$$

$$GF = m_{H^+} (\text{moly } H^+)$$

$$[\text{alkalita}] = 5.10^{-5} \times \text{ml (bod ekv.)} \times \text{faktor} \times 4 (\text{násob. faktor})$$

$$[\text{alkalita}] = 1.31E-03 \text{ eq/l}$$

I. kyselá srážková voda

pH = 3.000

S = 5.300E-04 mol/L

 $p_{\text{CO}_2} = -3.5$

Total alkalinity (eq/kg) = -1.073E-03

Total CO2 (mol/kg) = 1.701E-05

I. neutrální srážková voda, rovn. $p_{\text{CO}_2} = -3.5$

pH = 5.617

Total alkalinity (eq/kg) = 6.727E-09

Total CO2 (mol/kg) = 1.943E-05

**II. interakce v epikrase, $p_{\text{CO}_2} = -1.50$,
rozp. kalcitu $SI_{(\text{kalcit})} = 0$**

pH = 6.976

Total alkalinity (eq/kg) = 6.261E-03

Total CO2 (mol/kg) = 7.950E-03

Ca 3.667E-03 mol/L

S(6) 5.301E-04 mol/L

Saturace:

Calcite 0.00

CO_{2(g)} -1.50

Gvpsum -1.60

**II. interakce v epikrase, $p_{\text{CO}_2} = -1.50$,
rozp. kalcitu $SI_{(\text{kalcit})} = 0$**

pH = 6.992

Total alkalinity (eq/kg) = 6.458E-03

Total CO2 (mol/kg) = 8.147E-03

Ca 3.229E-03 mol/L

Saturace:

Calcite 0.00

CO_{2(a)} -1.50

III. odplynění v jeskyni, $p_{\text{CO}_2} = -2.50$

pH = 7.966

Total alkalinity (eq/kg) = 6.261E-03

Total CO₂ (mol/kg) = 6.356E-03

Ca 3.667E-03 mol/L

S(6) 5.301E-04 mol/L

Saturace:

Calcite 0.98

CO_{2(g)} -2.50

Gypsum -1.61

III. odplynění v jeskyni, $p_{\text{CO}_2} = -2.50$

pH = 7.983

Total alkalinity (eq/kg) = 6.458E-03

Total CO₂ (mol/kg) = 6.551E-03

Ca 3.229E-03 mol/L

Saturace:

Calcite 0.98

CO_{2(a)} -2.50

IV. růst speleotém,

sráž. kalcitu $SI_{(\text{kalcit})} = 0$

pH = 7.168

Total alkalinity (eq/kg) = 4.784E-03

Total CO2 (mol/kg) = 5.618E-03

Ca 2.929E-03 mol/L

S(6) 5.300E-04 mol/L

Saturace:

Calcite 0.00

CO2(g) -1.80

Gypsum -1.66

Celková bilance Ca:

rozpustilo se: 3.667E-03 mol/L

vysráželo se: 7.38E-04 mol/L

zbylo ve vodě: 2.929E-03 mol/L

IV. růst speleotém,

srážení kalcitu $SI_{(\text{kalcit})} = 0$

pH = 7.191

Total alkalinity (eq/kg) = 4.984E-03

Total CO2 (mol/kg) = 5.814E-03

Ca 2.492E-03 mol/L

Saturace:

Calcite 0.00

CO2(g) -1.81

Celková bilance Ca:

rozpustilo se: 3.229E-03 mol/L

vysráželo se: 7.37E-04 mol/L

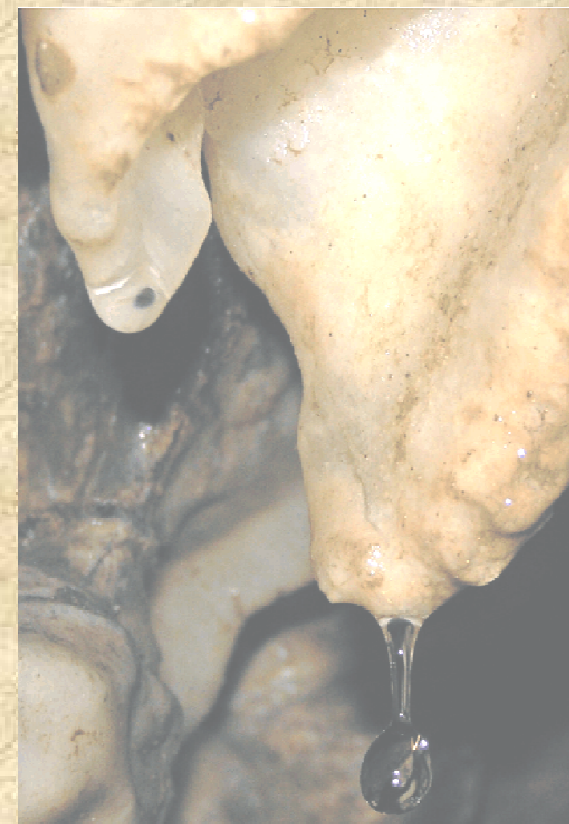
zbylo ve vodě: 2.492E-03 mol/L

Moravský kras: Všechny vody typu Ca – HCO₃



Parametry:

- pH ~ 8
- Ca ~ (1–4)x10⁻³ mol l⁻¹
- Alkalita (2 – 7)x10⁻³ mol l⁻¹
- Koncentrace K, Na, Mg o dva řády nižší (1 – 6)x10⁻⁵ mol l⁻¹
- Koncentrace Cl, SO₄, NO₃ (5x10⁻⁵ – 1x10⁻⁴) mol l⁻¹



Punkevní jeskyně

Tab. 3. Krasové vody. Punkevní jeskyně A

lokalizace skapu	PT (Tunelová chodba)		PA (spelotéma Anděl)		PH (Husův sloup)		PP (Punkva)	
období	9/7/03 až 8/3/05		3/6/03 až 8/3/05		13/2/03 až 8/3/05		13/2/03 až 8/3/05	
počet vzorků	10		8		13		13	
parametry	průměr	STD	průměr	STD	průměr	STD	průměr	STD
průtok [ml/hod]	836	553	1069	512	351	111	-	-
pH	7,57	0,32	8,00	0,12	8,08	0,19	7,31	0,19
Ca ²⁺ [mol/l]	1,58.10 ⁻³	1,73.10 ⁻⁴	3,49.10 ⁻³	3,10.10 ⁻⁴	4,00.10 ⁻³	4,62.10 ⁻⁴	2,04.10 ⁻³	6,46.10 ⁻⁴
K ⁺ [mol/l]	1,67.10 ⁻⁵	7,59.10 ⁻⁷	1,07.10 ⁻⁵	9,17.10 ⁻⁷	1,91.10 ⁻⁵	8,74.10 ⁻⁷	6,46.10 ⁻⁵	1,39.10 ⁻⁵
Mg ²⁺ [mol/l]	6,09.10 ⁻⁵	3,27.10 ⁻⁶	6,35.10 ⁻⁵	2,20.10 ⁻⁵	5,48.10 ⁻⁵	1,48.10 ⁻⁵	2,50.10 ⁻⁴	2,57.10 ⁻⁵
Na ⁺ [mol/l]	8,41.10 ⁻⁵	6,90.10 ⁻⁶	1,62.10 ⁻⁴	3,63.10 ⁻⁵	7,39.10 ⁻⁵	7,33.10 ⁻⁶	4,59.10 ⁻⁴	1,14.10 ⁻⁴
NH ₄ ⁺ [mol/l]	DL	-	DL	-	DL	-	1,80.10 ⁻⁶	3,33.10 ⁻⁶
alkalita [mol/l]	2,14.10 ⁻³	3,14.10 ⁻⁴	5,94.10 ⁻³	4,85.10 ⁻⁴	6,66.10 ⁻³	1,11.10 ⁻³	3,03.10 ⁻³	1,20.10 ⁻³
NO ₂ ⁻ [mol/l]	DL	-	DL	-	DL	-	4,17.10 ⁻⁷	4,82.10 ⁻⁷
NO ₃ ⁻ [mol/l]	1,11.10 ⁻⁴	2,13.10 ⁻⁵	1,20.10 ⁻⁴	4,07.10 ⁻⁵	3,78.10 ⁻⁵	5,41.10 ⁻⁶	4,81.10 ⁻⁴	1,56.10 ⁻⁴
Cl ⁻ [mol/l]	1,20.10 ⁻⁴	5,23.10 ⁻⁶	1,91.10 ⁻⁴	8,95.10 ⁻⁵	7,24.10 ⁻⁵	9,86.10 ⁻⁶	5,27.10 ⁻⁴	1,10.10 ⁻⁴
SO ₄ ²⁻ [mol/l]	4,61.10 ⁻⁴	2,68.10 ⁻⁵	4,83.10 ⁻⁴	6,66.10 ⁻⁵	4,99.10 ⁻⁴	3,25.10 ⁻⁵	4,80.10 ⁻⁴	3,74.10 ⁻⁵
PO ₄ ³⁻ [mol/l]	5,90.10 ⁻⁷	1,26.10 ⁻⁷	6,19.10 ⁻⁷	2,07.10 ⁻⁷	5,62.10 ⁻⁷	1,24.10 ⁻⁷	3,79.10 ⁻⁶	1,19.10 ⁻⁶
chyba ^a [%]	1,69	1,50	0,58	3,28	3,23	3,30	2,76	2,96
poměr Ca/Mg	26,01	2,49	60,03	15,76	76,80	13,95	8,49	3,38
poměr Mg/K	3,65	0,19	5,86	1,57	2,86	0,67	2,46	0,30
logpCO ₂ (ATM)	-2,93	0,25	-3,00	0,22	-2,98	0,34	-2,98	0,35
logpCO ₂ (SV)	-2,56	0,37	-2,57	0,15	-2,60	0,23	-2,20	0,26
logpCO ₂ (ER)	-2,79	0,17	-1,63	0,10	-1,47	0,16	-2,52	0,57
SI _{kate}	-0,22	0,25	0,92	0,09	1,10	0,16	-0,30	0,43

^a (kation - |anion|)/(kation + |anion|)x100

STD – standardní odchylka

DL – limit stanovení

Karsologie I

Tab. 4. Krasové vody. Punkevní jeskyně B

lokalizace skapu	PM1 (brčko 1)		PM2 (brčko 2)		PM3 (brčko 3)		PMM (stalaktit)	
období	13/2/03 až 3/8/05		13/2/03 až 3/8/05		13/2/03 až 20/5/04		13/2/03 až 3/8/05	
počet vzorků	12		13		10		13	
parametr	průměr	STD	průměr	STD	průměr	STD	průměr	STD
průtok [ml/hod]	38	12	250	143	24	11	139	41
pH	7.80	0.25	7.94	0.18	7.91	0.23	7.97	0.19
Ca ²⁺ [mol/l]	3.76x10 ⁻³	4.10x10 ⁻⁴	3.71x10 ⁻³	4.49x10 ⁻⁴	3.61x10 ⁻³	3.65x10 ⁻⁴	3.53x10 ⁻³	4.62x10 ⁻⁴
K ⁺ [mol/l]	1.80x10 ⁻⁵	5.80x10 ⁻⁷	1.77x10 ⁻⁵	2.90x10 ⁻⁶	1.84x10 ⁻⁵	7.31x10 ⁻⁷	2.01x10 ⁻⁵	1.64x10 ⁻⁶
Mg ²⁺ [mol/l]	5.19x10 ⁻⁵	1.09x10 ⁻⁶	7.20x10 ⁻⁵	5.81x10 ⁻⁶	4.16x10 ⁻⁵	1.22x10 ⁻⁶	5.40x10 ⁻⁵	1.56x10 ⁻⁶
Na ⁺ [mol/l]	5.74x10 ⁻⁵	2.18x10 ⁻⁶	7.44x10 ⁻⁵	4.14x10 ⁻⁶	6.57x10 ⁻⁵	1.39x10 ⁻⁶	7.14x10 ⁻⁵	8.55x10 ⁻⁶
NH ₄ ⁺ [mol/l]	DL	-	DL	-	-	-	6.01x10 ⁻⁷	1.53x10 ⁻⁷
alkalita [mol/l]	6.96x10 ⁻³	1.12x10 ⁻³	6.75x10 ⁻³	1.17x10 ⁻³	6.36x10 ⁻³	8.19x10 ⁻⁴	6.29x10 ⁻³	1.13x10 ⁻³
NO ₂ ⁻ [mol/l]	DL	-	DL	-	-	-	DL	-
NO ₃ ⁻ [mol/l]	4.81x10 ⁻⁵	5.09x10 ⁻⁶	4.58x10 ⁻⁵	9.04x10 ⁻⁶	4.71x10 ⁻⁵	5.68x10 ⁻⁶	3.53x10 ⁻⁵	1.10x10 ⁻⁵
Cl ⁻ [mol/l]	5.42x10 ⁻⁵	1.30x10 ⁻⁵	6.42x10 ⁻⁵	1.35x10 ⁻⁵	8.09x10 ⁻⁵	1.74x10 ⁻⁵	6.13x10 ⁻⁵	7.11x10 ⁻⁶
SO ₄ ²⁻ [mol/l]	3.76x10 ⁻⁴	1.96x10 ⁻⁵	3.95x10 ⁻⁴	3.46x10 ⁻⁵	5.03x10 ⁻⁴	2.50x10 ⁻⁵	4.22x10 ⁻⁴	4.04x10 ⁻⁵
PO ₄ ³⁻ [mol/l]	5.57x10 ⁻⁷	4.76x10 ⁻⁸	6.32x10 ⁻⁷	2.02x10 ⁻⁷	-	-	6.05x10 ⁻⁷	1.67x10 ⁻⁷
chyba ^a [%]	0.16	2.81	1.09	4.01	-0.14	2.36	0.96	2.82
poměr Ca/Mg	74.11	9.78	67.09	19.74	86.47	9.94	68.05	8.88
poměr Mg/K	2.89	0.62	5.09	7.09	2.27	0.11	2.67	0.64
logpCO ₂ (atm)	-2.97	0.36	-2.98	0.35	-2.93	0.38	-2.98	0.35
logpCO ₂ (sv)	-2.31	0.29	-2.46	0.23	-2.46	0.26	-2.54	0.22
logpCO ₂ (ek)	-1.47	0.15	-1.50	0.17	-1.56	0.13	-1.58	0.19
Sh_{kar}	0.82	0.21	0.94	0.15	0.88	0.19	0.93	0.20

^a (kation - |anion|)/(kation + |anion|)x100

STD – standardní odchylka

DL – limit stanovení

Karsologie I

Tab. 5. Krasové vody. Balcarka

lokalizace skapu	BV1 (brčko 1)		BV 2 (brčko 2)		BG (brčko 3)
období	24/4/03 až 9/11/04		24/4/03 až 20/5/04		9/11/04
počet vzorků	6		10		1
parametr	průměr	STD	průměr	STD	hodnota
průtok [ml/hod]	402	395	59	90	1000
pH	7,89	0,13	7,95	0,27	8,01
Ca ²⁺ [mol/l]	2,78.10 ⁻³	5,77.10 ⁻⁴	2,71.10 ⁻³	5,10.10 ⁻⁴	4,10.10 ⁻³
K ⁺ [mol/l]	6,91.10 ⁻⁶	1,60.10 ⁻⁶	8,22.10 ⁻⁶	5,40.10 ⁻⁶	6,14.10 ⁻⁶
Mg ²⁺ [mol/l]	4,33.10 ⁻⁵	1,62.10 ⁻⁵	4,36.10 ⁻⁵	1,25.10 ⁻⁵	2,96.10 ⁻⁵
Na ⁺ [mol/l]	1,37.10 ⁻⁴	4,55.10 ⁻⁵	1,24.10 ⁻⁴	1,29.10 ⁻⁵	5,74.10 ⁻⁵
NH ₄ ⁺ [mol/l]	DL	-	DL	-	1,11.10 ⁻⁶
alkalita [mol/l]	5,15.10 ⁻³	1,04.10 ⁻³	5,16.10 ⁻³	9,26.10 ⁻⁴	7,67.10 ⁻³
NO ₂ ⁻ [mol/l]	DL	-	DL	-	DL
NO ₃ ⁻ [mol/l]	7,07.10 ⁻⁵	2,85.10 ⁻⁵	3,87.10 ⁻⁵	5,64.10 ⁻⁶	-
Cl ⁻ [mol/l]	3,81.10 ⁻⁵	4,62.10 ⁻⁵	1,75.10 ⁻⁵	4,51.10 ⁻⁶	1,04.10 ⁻⁴
SO ₄ ²⁻ [mol/l]	1,30.10 ⁻⁴	8,89.10 ⁻⁵	1,04.10 ⁻⁴	2,44.10 ⁻⁵	4,37.10 ⁻⁴
PO ₄ ³⁻ [mol/l]	1,50.10 ⁻⁶	1,57.10 ⁻⁶	8,16.10 ⁻⁷	4,56.10 ⁻⁸	1,05.10 ⁻⁶
chyba ² [%]	3,01	5,97	2,95	3,57	-2,16
poměr Ca/Mg	68,85	15,75	65,51	9,61	138,44
poměr Mg/K	6,71	2,85	6,46	2,57	4,83
logpCO ₂ (ATM)	-2,98	0,22	-2,98	0,23	-2,94
logpCO ₂ (SV)	-2,52	0,15	-2,58	0,32	-2,47
logpCO ₂ (EK)	-1,83	0,23	-1,83	0,19	-1,35
SI _{karst}	0,65	0,25	0,73	0,20	1,10

² (kation - |anion|)/(kation + |anion|)x100

STD – standardní odchylka,

DL – limit stanovení

Karsologie I

Tab. 6. Krasové vody. Amatérská jeskyně

lokality	AR (stalaktit)		AC1 (záclona)		AS (brčko)		AA	AC2
počet vzorků	11		10		12		1	1
období	24/4/03 až 9/11/04		24/4/03 až 9/11/04		24/4/03 až 8/3/05		8/3/05	17/3/04
parametr	průměr	STD	průměr	STD	průměr	STD	hodnota	hodnota
průtok [ml/hod]	495	310	1870	1960	104	33	700	400
pH	7,88	0,17	7,72	0,23	7,77	0,22	8,02	7,83
Ca ²⁺ [mol/l]	3,65.10 ⁻³	4,86.10 ⁻⁴	3,60.10 ⁻³	6,58.10 ⁻⁴	4,12.10 ⁻³	4,50.10 ⁻⁴	4,04.10 ⁻³	2,72.10 ⁻³
K ⁺ [mol/l]	1,49.10 ⁻⁵	8,82.10 ⁻⁷	1,46.10 ⁻⁵	7,26.10 ⁻⁶	8,44.10 ⁻⁶	1,82.10 ⁻⁶	7,67.10 ⁻⁶	1,64.10 ⁻⁵
Mg ²⁺ [mol/l]	6,63.10 ⁻⁵	1,99.10 ⁻⁵	7,12.10 ⁻⁵	2,16.10 ⁻⁵	2,56.10 ⁻⁴	8,37.10 ⁻⁶	2,86.10 ⁻⁴	3,25.10 ⁻⁵
Na ⁺ [mol/l]	9,40.10 ⁻⁵	1,02.10 ⁻⁵	2,42.10 ⁻⁴	3,12.10 ⁻⁵	2,25.10 ⁻⁴	1,09.10 ⁻⁵	2,09.10 ⁻⁴	3,65.10 ⁻⁵
NH ₄ ⁺ [mol/l]	DL	-	1,33.10 ⁻⁶	1,63.10 ⁻⁶	DL	-	DL	3,88.10 ⁻⁶
alkalita [mol/l]	6,86.10 ⁻³	1,14.10 ⁻³	5,16.10 ⁻³	1,59.10 ⁻³	7,87.10 ⁻³	1,28.10 ⁻³	6,75.10 ⁻³	4,37.10 ⁻³
NO ₂ ⁻ [mol/l]	DL	-	DL	-	DL	-	DL	DL
NO ₃ ⁻ [mol/l]	1,01.10 ⁻⁴	3,91.10 ⁻⁵	1,26.10 ⁻³	2,04.10 ⁻⁴	5,83.10 ⁻⁵	8,85.10 ⁻⁶	4,19.10 ⁻⁵	5,97.10 ⁻⁵
Cl ⁻ [mol/l]	1,14.10 ⁻⁴	2,36.10 ⁻⁵	2,35.10 ⁻⁴	5,51.10 ⁻⁵	1,06.10 ⁻⁴	7,02.10 ⁻⁶	1,83.10 ⁻⁴	4,80.10 ⁻⁵
SO ₄ ²⁻ [mol/l]	2,34.10 ⁻⁴	2,96.10 ⁻⁵	5,50.10 ⁻⁴	5,83.10 ⁻⁵	5,71.10 ⁻⁴	4,09.10 ⁻⁵	6,04.10 ⁻⁴	1,46.10 ⁻⁴
PO ₄ ³⁻ [mol/l]	5,79.10 ⁻⁷	1,18.10 ⁻⁷	6,53.10 ⁻⁷	1,68.10 ⁻⁷	7,37.10 ⁻⁷	1,72.10 ⁻⁷	1,79.10 ⁻⁶	8,42.10 ⁻⁷
chyba ³ [%]	0,90	4,59	-0,94	5,20	-0,24	3,92	4,55	11,64
poměr Ca/Mg	57,27	8,32	51,92	5,72	16,07	1,64	14,11	83,71
poměr Mg/K	4,40	1,12	5,51	1,96	31,33	4,57	37,31	1,99
logpCO ₂ (ATD)	-2,56	0,26	-2,75	0,31	-2,82	0,33	-	-2,97
logpCO ₂ (SV)	-2,39	0,19	-2,36	0,26	-2,23	0,25	-2,54	-2,52
logpCO ₂ (EK)	-1,49	0,16	-1,77	0,26	-1,35	0,15	-1,47	-1,95
SI _{kalc}	0,88	0,17	0,58	0,27	0,86	0,19	1,04	0,56

³ (kation - |anion|)/(kation + |anion|)x100

STD – standardní odchylka

DL – limit stanovení

Saturační indicie skapových vod

	lokalita	atmosféra log p _{CO2}	skapová voda		
			SI _{calc}	log p _{CO2} DW	log p _{CO2} EK
Punkevní jeskyně	MD/PJ 1	-2.87±0.35	1.05±0.19	-2.57±0.26	-1.49±0.18
	MD/PJ 2	-2.87±0.35	0.88±0.20	-2.47±0.27	-1.57±0.13
	MD/PJ 3	-2.87±0.35	0.84±0.23	-2.36±0.29	-1.51±0.14
	MD/PJ 4	-2.87±0.35	0.93±0.13	-2.46±0.18	-1.52±0.18
	A/PJ 5	-2.97±0.22	0.94±0.06	-2.60±0.12	-1.64±0.11
	T/PJ 6	-2.90±0.26	-0.28±0.25	-2.51±0.40	-2.80±0.17
Balcarka	BD/B 1	-3.17±0.07	0.58±0.19	-2.49±0.22	-1.99±0.05
	BD/B 2	-2.96±0.24	0.74±0.20	-2.65±0.26	-1.88±0.13
Amatérská jeskyně	A/A 1	-2.80±0.36	0.88±0.22	-2.27±0.22	-1.38±0.09
	RaD/A 2	-2.57±0.28	0.82±0.18	-2.40±0.21	-1.57±0.04
	LD/A 3	-2.74±0.31	0.57±0.28	-2.33±0.27	-1.75±0.28

MD/PJ – Masarykův dóm, Punkevní jeskyně

A/PJ – speleotém Anděl Punkevní jeskyně

T/PJ – Tunelová chodba, Punkevní jeskyně

BD/B – Velký dóm, Balcarka

A/A – Štola, Amatérská jeskyně

RaD/A – Dóm Razstoka, Amatérská jeskyně

LD/A – Rozlehlá chodba, Amatérská jeskyně

Karsologie I

Doplňující/související předměty:

G8411 Geochemie krasových procesů

G8581 Pokročilá hydrogeochemie